

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 8 maja 2018 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 21 maja 2018 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Piotra Wiśniewskiego

temat: „Metody sterowania dla adaptacyjnego strumieniowania wideo bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania”

promotor – prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski z Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

dr hab. inż. Sylwester Kaczmarek z Politechniki Gdańskiej

prof. dr hab. inż. Michał Pióro z Politechniki Warszawskiej

Obrona odbędzie się w dniu 21 maja 2018 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 13.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Rozprawa doktorska

mgr inż. Piotr Wiśniewski

**Metody sterowania dla adaptacyjnego strumieniowania wideo
bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania**

Promotor
prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono nową klasę metod sterowania dla adaptacyjnego strumieniowania wideo, które bazują na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania - algorytmy PBA (*ang.* stalling-Propability-Based Adaptation). Algorytmy PBA mają w zamierzeniu maksymalizować postrzeganą przez użytkownika jakość usługi strumieniowania treści wideo przez sieć, która nie zapewnia gwarancji jakości przekazu. W tym celu proponowane metody dążą do maksymalizacji jakości pobieranej treści wideo przy jednoczesnym ograniczeniu częstości zatrzymań odtwarzania.

Algorytmy PBA są przeznaczone dla obecnie stosowanych rozwiązań HAS (*ang.* HTTP Adaptive Streaming), czyli rozwiązań dla adaptacyjnego strumieniowania wideo wykorzystujących parę protokołów HTTP i TCP. Rozwiązania HAS zakładają, iż treść wideo jest dostępna w systemie dystrybucji treści w różnych jakościach, tzw. profilach wideo, oraz jest podzielona na małe autonomicznie dekodowalne fragmenty wideo. Adaptacja dotyczy wyboru możliwie najlepszych (najwyższych) profili kolejnych fragmentów treści zgodnie z dostępną szybkością bitową na ścieżce przekazu treści, przy czym wyższy profil wideo charakteryzuje się zarówno wyższą jakością obrazu jak i większą ilością danych do przesłania przez sieć.

Obecnie stosowane metody sterowania dla HAS, zwane algorytmami adaptacji, działają najczęściej w oparciu o estymowaną szybkość pobierania treści wideo, lub bazują na poziomie wypełnienia bufora odtwarzającego. W niniejszej rozprawie zaproponowano nową klasę algorytmów, które bazują na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania. Prawdopodobieństwo zatrzymania jest wyznaczane dla danego profilu wideo na podstawie analizy pomocniczego systemu bez adaptacji – systemu HS (*ang.* HTTP streaming). System HS jest modelowany na poziomie HTTP jako system obsługi z oczekiwaniem. Algorytmy PBA wybierają najwyższy profil, dla którego estymowana wartość prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania nie przekracza zadanego a priori poziomu.

W rozprawie wprowadzono schemat działania systemów HAS ze szczególnym uwzględnieniem stanu sztuki dla algorytmów adaptacji. Następnie zaproponowano nową metodę adaptacji, która działa w oparciu o wprowadzony model systemu HS. Ponadto zaproponowano dwa algorytmy adaptacji ilustrujące metodę. Efektywność działania proponowanych algorytmów została zweryfikowana przez testy przeprowadzone w warunkach rzeczywistych oraz poprzez symulacje.

Recenzja rozprawy doktorskiej

dla

Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej w Warszawie

Tytuł rozprawy: **Metody sterowania dla adaptacyjnego strumieniowania wideo bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania**

Autor rozprawy: **mgr inż. Piotr Wiśniewski**

Wzrost ilości przesyłanych w sieci informacji pochodzących z różnego rodzaju źródeł jest niezaprzeczalnym faktem i wszystko wskazuje na to iż będzie on nadal trwał. Jednocześnie za tymi zmieniającymi się potrzebami i wymaganiami nie nadążają szeroko rozumiane możliwości usługowe istniejącej infrastruktury sieciowej. Sytuacja ta zmusza zatem do takich rozwiązań współpracujących urządzeń końcowych, które uwzględniałyby zaistniały stan umożliwiając mimo wszystko realizację usług oczekiwanych przez użytkowników (abonentów). Ma to między innymi miejsce w przypadku usługi wideo dla której należy zagwarantować właściwą jakość mimo zmiennych i trudnych warunków obsługi ruchu przez sieć. Dobrym rozwiązaniem w takich przypadkach jest wykorzystanie adaptacyjnej metody sterowania strumienia danych w relacji klient - serwer, którzy współpracują ze sobą poprzez sieć. Przedstawiona do recenzji rozprawa jest ulokowana w obszarze problemów obejmujących zagadnienie strumieniowania treści wideo. Bardzo ważnym w tym przypadku jest zaproponowanie właściwej metody sterowania przepływem treści wideo między serwerem a klientem z uwzględnieniem dynamiki zmian stanu sieci z jednoczesną gwarancją jakości oczekiwanej i akceptowanej przez odbiorcę tej treści. O wadze problemu świadczy różnorodność rozwiązań stosowanych przez dostawców usługi wideo, które charakteryzują się odmiennymi cechami zarówno co do zasady działania jak i wydajności oraz oferowanej jakości. Doktorant zaproponował i przebadał metody sterowania strumieniowania wideo w których algorytmy adaptacyjne wykorzystują jako parametr prawdopodobieństwo zatrzymania odtwarzania. Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny. W jej wyniku Autor przedstawił i następujące tezy:

- 1. Na podstawie zaproponowanej metody analizy modelu systemu HS można w przybliżeniu wyznaczyć prawdopodobieństwa odtwarzania.*
- 2. Wartości prawdopodobieństw zatrzymania odtwarzania wyznaczone na podstawie analizy modelu systemu HS mogą być wykorzystane przez algorytm adaptacji HAS w celu określenia profilu wideo odpowiedniego względem bieżących warunków pobierania treści.*
- 3. Zaproponowane algorytmy adaptacji bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania umożliwiają osiągnięcie wysokiej postrzeganej jakości usługi adaptacyjnego strumieniowania wideo HAS.*

Zarówno zagadnienie naukowe, postawiony cel jak i tezy pracy są sformułowane przez Dok-

toranta w sposób trafny, poprawny, jasny i zrozumiały.

Recenzowana rozprawa ma objętość 165. stron i składa się z siedmiu rozdziałów oraz siedmiu załączników. Pierwsza część, obejmująca rozdziały 2. i 3., jest przeglądem i analizą stanu wiedzy z obszaru zagadnień dotyczących tematu rozprawy. Kolejno omówiono adaptacyjne strumieniowanie wideo bazujące na protokole HTTP oraz systemy strumieniowania typu HAS (HTTP Adaptive Streaming). Analiza dotyczy architektury, zasady pracy, stosowanych rozwiązań komercyjnych i wynikających stąd zalet i wad. Scharakteryzowano poszczególne moduły funkcjonalne po stronie klienta HAS, a w tym: moduł pobierania (na który składa się sterownik obsługi żądań, sterownik adaptacji), bufor odtwarzający i moduł odtwarzania. Przedstawiono scenariusze pracy i wymiany wiadomości w relacji klient – serwer oraz poszczególnych elementów funkcjonalnych klienta. Ponieważ istotnym elementem dla efektywności działania jest sposób rozwiązania funkcji adaptacji to temu zagadnieniu został w całości poświęcony rozdział trzeci. Przeprowadzona jest klasyfikacja algorytmów adaptacji w której wyróżnia się następujące grupy:

- RBA (Rate-Based Adaptation) bazujące na estymacji szybkości pobierania bloków wideo.
- BBA (Buffer-Based Adaptation) bazujące na poziomie wypełnienia bufora odtwarzającego.
- TBA (Time-Based Adaptation) bazujące na czasie pobierania bloków wideo.
- PBA (stalling-Probability-Based Adaptation) bazujące na prawdopodobieństwie zatrzymania odtwarzania.

Dla każdej z tych grup omówione są podstawowe algorytmy i przytoczone zależności analityczne według których te algorytmy działają. Z uwagi na potrzebę jakościowego porównania algorytmów konieczne jest wprowadzenie miar. W przypadku problemu rozwiązywanego w pracy najodpowiedniejszą miarą (metryką) byłby MOS oceniający jakość spostrzeganą przez klienta usługi. Jednakże z uwagi na stopień złożoności przeprowadzenia takiej oceny zdecydowano się na pośrednią ocenę poprzez miary bezpośrednio mierzalne w procesie realizacji usługi i przedyskutowano ich wpływ na jakość QoE. Są to:

- RER (Rebuffering Event Ratio) – częstość zatrzymań odtwarzania.
- RED (Rebuffering Event Duration) – średnia długość zatrzymania odtwarzania.
- RSE (Representation Selection Efficiency) – efektywność wyboru profili.
- RSR (Representation Switch Ratio) – częstość zmian profili wideo.
- RSA (Representation Switch Amplitude) – średnia amplituda zmian szybkości bitowej profili wideo.

Wykonana w tej części pracy analiza jest przeprowadzona właściwie oraz poparta odwołaniem do literatury światowej i wskazuje iż Doktorant posiadał znaczną wiedzę w obszarze w którym ulokowana jest tematyka rozprawy.

Druga część pracy zawiera opis zaproponowanego przez Doktoranta rozwiązania postawionego problemu i obejmuje rozdziały 4., 5. i 6. Ponieważ zaproponowane w rozprawie algorytmy bazują na prawdopodobieństwie zatrzymania odtwarzania to w pierwszej kolejności konieczne było opracowanie modelu i sposobu określenia tego prawdopodobieństwa. Punktem wyjścia dla jego utworzenia jest dokładny model dla systemu HS, który jest systemem obsługi z oczekiwaniem $A_{N(t)}/D/1/N$. W modelu tym poczyniono założenia upraszczające, a mianowicie przyjęto, że liczba pobranych bloków zależy tylko od liczby bloków w systemie. Założenie to umożliwia obliczenie prawdopodobieństwa stanów systemu w momentach zakończenia obsługi poprzez wykorzystanie teorii włożonych łańcuchów Markowa. W konsekwencji mamy macierz prawdopodobieństw przejść między stanami oraz układ równań umożliwiający określenie prawdopodobieństwa stanu tego systemu obsługi. Problem jest w tym, że te prawdopodobieństwa przejść są zależne od cech statystycznych strumienia napływających bloków danych treści wideo. W rozprawie pokazano jak przedstawić rozkład praw-

dopodobieństwa pojawienia się określonej liczby bloków podczas odtwarzania bloku. Rozkład ten zależy od funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasu pobierania bloku. Dla wyprowadzenia ostatecznych zależności wykorzystano rachunek transformat Laplace'a oraz przybliżone odwrotne transformaty Laplace'a. W ten sposób otrzymano w zwartej formie zależności umożliwiające obliczenie rozkładu prawdopodobieństwa liczby bloków a w konsekwencji prawdopodobieństwa stanu systemu obsługi i tym samym prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania. Na podstawie analizy literaturowej i własnych przemyśleń Autor stwierdza, że funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasów pobierania bloku jest logarytmicznie normalna dla której nie ma w postaci jawnej transformaty Laplace'a, a jedynie jej przybliżenie. Z uwagi na szereg założeń upraszczających i przybliżeń Doktorant wykonał weryfikację wyników modelu analitycznego poprzez porównanie z wynikami symulacji. Uzyskane wyniki potwierdziły przypuszczenia co do dokładności, która silnie zależy od wartości średniej i współczynnika wariancji rozkładu logarytmicznie normalnego. Mimo to należy stwierdzić, że ta część pracy (rozdział 4) dowodzi słuszności pierwszej tezy postawionej w rozprawie.

Sposób zastosowania parametru prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania przedstawiono w rozdziale piątym w którym zaproponowano dwa algorytmy adaptacji należące do grupy PBA, tzn. ABMA+ (Adaptation and Buffer Management Algorithm) i ERA (Enhanced Rebuffering-based adaptive Algorithm). W tym celu przedstawiono zależność na minimalną pojemność bufora od współczynnika nadmiaru σ i współczynnika zmienności c_v szybkości pobierania bloków oraz zadanej wartości progu ε na prawdopodobieństwo PS zatrzymania odtwarzania. W przypadku algorytmu ABMA+ wyznaczany jest najwyższy profil wideo dla kolejnego bloku oraz najmniejsza wymagana pojemność bufora odtwarzającego przy warunku, że prawdopodobieństwo PS zatrzymania odtwarzania nie przekracza założonego progu ε . Z kolei algorytm ERA działa zależnie od aktualnego stanu wypełnienia bufora odtwarzającego. Jeżeli stan ten jest niski to wybierany jest możliwie najwyższy profil wideo dla którego prawdopodobieństwo PS zatrzymania odtwarzania nie przekracza danego progu ε (działanie konserwatywne, analogiczne do algorytmu ABMA+). Dla maksymalnego stanu algorytm ERA wybiera profil wideo, którego szybkość jest większa niż szybkość pobierania bloków (działanie agresywne). W pracy zastosowano podejście w którym obszar bufora został podzielony na strefę adaptacji i strefę optymalizacji, dzięki czemu wybór profili umożliwia osiągnięcie jednocześnie wysokiej efektywności adaptacji i niskiej częstości zmian profili. W strefie adaptacji zastosowano podejście konserwatywne, a w strefie optymalizacji podejście agresywne oraz nadzór tempa spadku wypełnienia bufora. Zaproponowane podejście zostało nazwane quasi-agresywnym.

Dla zweryfikowania właściwości zaproponowanych algorytmów adaptacji Doktorant przeprowadził eksperymenty w rzeczywistej sieci Internet oraz badania symulacyjne. Przebadano następujące algorytmy: RBA-0, BBA-0 oraz proponowane w pracy ABMA+ i ERA. Jako miary dla porównania zastosowano: RSE_1 , RSE_2 , RSR, RER, RSA i RED. We wszystkich badaniach przyjęto, że klient HAS znajduje się w sieci WLAN i pobiera wideo „Big Buck Bunny”. W przypadku eksperymentu w Internecie (wideo było pobierane z serwera zlokalizowanego w Klagenfurcie w Austrii) algorytmy zostały zintegrowane z modułem DASH w odtwarzaczu VLC i uzyskano wyniki, które wskazują że najlepszy jest algorytm ERA, a algorytm ABMA+ jest porównywalny z pozostałymi dwoma (w tym przypadku z uwagi na sześć miar trudno jest przeprowadzić jednoznaczną analizę porównawczą, byłoby łatwiej gdyby była jedna miara np. MOS). Badania symulacyjne wykonano bazując na opracowanym symulatorze zaimplementowanym w języku C++. Przeprowadzono cztery różne scenariusze testów:

1. stała szybkość pobierania treści.
2. szybkość pobierania typu ON-OFF.

3. szybkość pobierania zgodna z wektorem testowym DASH IF.
4. szybkość pobierania na podstawie danych pomiarowych – dane pochodziły z pomiarów w sieci 3G wykonane w rejonie miasta Oslo w Norwegii dla różnych środków transportu (metro, tramwaj, pociąg, autobus, prom, samochód).

Wyniki uzyskane w Internecie, symulacji, a także w symulacji na podstawie danych pomiarowych pokazują takie same cechy algorytmów, a zachowanie algorytmów jest zależne od sposobu pobierania treści wideo. Poszczególne miary dla algorytmów różnią się między sobą i różnice te są zależne od rodzaju scenariusza. Z zaproponowanych w rozprawie algorytmów lepszym okazał się ERA i w stosunku do pozostałych przebadanych algorytmów w zależności od porównywanej miary jest lepszy lub porównywalny. Z analizy porównawczej wynika iż zarówno druga jak i trzecia teza sformułowana w rozprawie jest prawdziwa.

Z omówionej tu drugiej części recenzowanej rozprawy wynika także samodzielny i oryginalny dorobek Autora do którego należy zaliczyć przede wszystkim:

1. propozycję dwóch algorytmów adaptacji pobierania treści należących do grupy algorytmów PBA, tzn. ABMA+ i ERA.
2. sformułowanie modelu i sposobu obliczania prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania na podstawie obserwowanych danych pomiarowych.
3. implementację algorytmów adaptacji i ich zintegrowanie z modułem DASH w odtwarzaczu VLC.
4. zrealizowanie symulatora do badania cech algorytmów adaptacji.
5. zbudowanie rzeczywistego środowiska do przeprowadzenia badań w sieci Internet.
6. przeprowadzenie kompleksowych badań porównawczych algorytmów.
7. wykazanie, że proponowane algorytmy bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania są skuteczne i gwarantują spełnienie wymagań oczekiwanych przez klientów.

Należy również podkreślić, że rozprawa jest kompleksowa, tzn. zawiera rozważania teoretyczne poparte aparatem matematycznym, implementację proponowanych rozwiązań, badania symulacyjne oraz badania w rzeczywistym środowisku sieciowym. Jej charakter i wyniki są na poziomie światowym i wpisują się w aktualny nurt prac w tym obszarze badań.

Struktura treści rozprawy przedstawionej do recenzji jest właściwa i zawiera konieczne i wystarczające składniki. Forma i redakcja tej treści zawiera jednak znaczną liczbę uchybień, które można zaklasyfikować do tych mających wpływ na właściwe zrozumienie myśli i przeprowadzonego wyводу oraz takich, które są powtórzeniami, niewłaściwymi przypadkami lub pominięciem słów i literówkami. Pierwsze z nich wymagają od czytającego dodatkowego wysiłku aby przeprowadzić korektę opisu czy zapisu, np. rys. 2.4, wzór 4.31, powtórzenie w rozdziale 5. numerów wzorów i tym samym rozróżnienie odwołań do nich, wzór 7.15. Z kolei pozostałe są zwyczajnie utrudnieniem w czytaniu. Autor często tłumaczy oczywiste zapisy, natomiast tam gdzie przydałoby się przeprowadzenie głębszego wyvodu to go brak i stosuje skróty myślowe. Jednocześnie używa dużej liczby odnośników dla dodatkowych objaśnień mimo iż znaczna część jest niepotrzebna, jednakże zmusza czytającego do zapoznania się z nimi co przerywa prowadzony tok myślenia. W wielu przypadkach odwołania do literatury są zbyt częste, a jednocześnie do niektórych pozycji nie ma w ogóle odwołań. W pracy jest wykaz skrótów, natomiast przydałby się wykaz symboli i oznaczeń. Doktorant używa również różnych konstrukcji zdania w języku polskim, z których niektóre są niepoprawne, a także nadużywa słowa „pozwala”, gdy w wielu przypadkach powinno to być słowo „umożliwia”. Wykresy z wynikami są tak skonstruowane, że legenda przysłania wyniki. Tekst i rozprawa zyskałaby na jakości, gdyby Autor uważnie przeczytał napisany tekst lub dał innej osobie do przeczytania, bo wówczas wiele z tych uchybień nie miałyby miejsca.

Przechodząc do przedstawienia słabych stron i wad rozprawy należałoby zwrócić uwagę na wyprowadzenie zależności na prawdopodobieństwo zatrzymania odtwarzania i jego dyskusję. Mianowicie brak mi pełnej dyskusji skutków przyjętych założeń upraszczających, zarówno ze względu na dokładność, jak i wpływu na skuteczność proponowanych algorytmów. Co prawda jest przeprowadzona weryfikacja poprzez symulację ale ona pokazuje nam jak duże mogą być rozbieżności w uzyskanych wynikach i od czego one zależą. Szkoda, że nie obliczono błędu względnego, a następnie nie przeprowadzono rozważań jego wpływu na skuteczność działania proponowanych algorytmów.

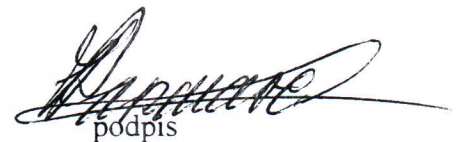
Należy również zwrócić uwagę na fakt iż w rozprawie jest bardzo mało informacji o zrealizowanym modelu symulacyjnym, który był mocno eksploatowany.

Ponieważ dużą część wyników uzyskano na drodze symulacji to należało przeprowadzić analizę wiarygodności tych wyników, np. podać przedziały ufności uzyskanych wielkości w przypadku, gdy była prowadzona estymacja przedziałowa lub stwierdzić, że była to estymacja punktowa i była ona tak długo prowadzona, że wyniki nie zmieniały się z dokładnością do któregoś miejsca po przecinku.

Moje zastrzeżenia budzi też kwestia oceny QoE. Co prawda Autor podkreśla, że ocena QoE jest trudna to jednak w zakończeniu omawiania wyników oraz w podsumowaniu stwierdza, że badane algorytmy spełniają wymagania QoE. Zatem jak to jest z tym QoE? Czy tu chodzi o poszczególne miary, które wnoszą swój wkład do QoE? Czy ten wkład jest tak samo istotny? Bo jeżeli nie to jak można w tym kontekście mówić o QoE? Brakuje mi głębszej analizy tego zagadnienia.

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest w aktualnym nurcie badań dla tego obszaru nauk technicznych i co ważne ma praktyczne implikacje. Dowodem na to są liczne publikacje jej wyników w renomowanych czasopismach czy też materiałach konferencji oraz co jest bardzo ważne uzyskany patent. Zaproponowane algorytmy i modele obliczeń oraz praktyczna weryfikacja w rzeczywistym systemie pokazały ich wysoką skuteczność działania. W ten sposób potwierdzono duży wkład i przydatność rozprawy dla nauk technicznych.

Biorąc pod uwagę całkowitą zawartość rozprawy, osiągnięte przez Doktoranta wyniki oraz udowodnienie postawionych tez, których wyrazem są także publikacje o międzynarodowym zasięgu (w tym dwie publikacje z listy JCR) oraz patent RP uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania z wyraźnym nadmiarem odnośnej ustawy o tytułach naukowych i stopniach naukowych i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Jednocześnie pozostawiam sobie na publicznej obronie otwartą kwestię mojego wystąpienia o jej wyróżnienie.



podpis

KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: ***Metody sterowania dla adaptacyjnego strumieniowania wideo bazujące na estymacji prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania***

Autor rozprawy: ***mgr inż. Piotr Wiśniewski***

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

W rozprawie został rozpatrzony model analityczny strumieniowego przekazywania danych wideo w sieci Internet, który posłużył do opracowania metody adaptacyjnego sterowania takim przekazem, maksymalizującej, w danych warunkach sieciowych, jakość przekazu widzianą przez odbiorcę. Autor wyprowadza odpowiednie wzory analityczne, opisuje opracowaną metodę (wraz z inną metodą, opracowaną wcześniej) oraz omawia wyniki systematycznych badań testowych działania zaproponowanej metody, porównując je z wynikami dla innych metod.

Tezy pracy są jasne i odpowiadają uzyskanym wynikom. Można by je jednak nieco doprecyzować w dwóch kwestiach: czy podane wzory są przybliżone czy heurystyczne (Teza 1) oraz co jest rozumiane przez jakość opracowanych metod (Teza 3).

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Autor zadał sobie trud weryfikacji dokładności i przydatności uzyskanych wzorów analitycznych oraz opartych na nich metod sterowania, zarówno na podstawie odpowiedniego modelu symulacyjnego uwzględniającego ruch rzeczywisty, jak i ich zachowania w sieci rzeczywistej.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bibliografia liczy łącznie 105 pozycji, w tym 5 artykułów z udziałem Doktoranta (w charakterze współautora) oraz jeden patent z jego udziałem. Dwa z ww. artykułów zostały opublikowane w dobrych czasopismach z listy JCR, a jeden w materiałach czołowej konferencji IEEE.

Przegląd i analiza źródeł jest przeprowadzona właściwie, głównie w rozdziałach 1 i 2. Jest to zrobione krótko i przekonująco, czyli tak jak trzeba. Istotność zagadnienia analizowanego w rozprawie jasno wynika z przeprowadzonej analizy.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor zrealizował postawione sobie zadanie opracowania metody adaptacyjnego sterowania strumieniowaniem wideo w oparciu o dynamicznie szacowane miary analityczne (najważniejsza z nich to prawdopodobieństwo zatrzymania odtwarzania). Zastosował do tego właściwe, nietrywialne (choć standardowe) podejście oparte na analizie włożonego łańcucha Markowa dla systemu G/D/1/N.

Starannie przeprowadzone eksperymenty w Internecie (podrozdział 6.1) oraz kompleksowe studium symulacyjne (podrozdział 6.2) potwierdzają tezę, że oryginalna adaptacyjna metoda sterowania (o nazwie ERA) zaproponowana przez Doktoranta zapewnia dobrą jakość strumieniowania (w sensie najistotniejszych miar jakości), konkurencyjną w stosunku do metod znanych z literatury i praktyki.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

O oryginalności rozprawy stanowią wyniki rozdziałów 4 i 5. Jeśli chodzi o aspekt teoretyczny, to Autor zdefiniował włożony łańcuch Markowa z czasem dyskretnym, w którym stan łańcucha określa liczbę bloków znajdujących się w buforze terminala w momencie zakończenia odtwarzania bieżącego bloku. Następnie, dzięki przyjęciu odpowiedniego założenia upraszczającego, umiejętnie zastosował iloczyn splotowy odp. dystrybuant do wyznaczenia stacjonarnego rozkładu stanu łańcucha, a co za tym idzie do wyznaczenia prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania.

W aspekcie inżynierskim oryginalność rozprawy wynika z przyjęcia prawdopodobieństwa zatrzymania odtwarzania jako czynnika decydującego o decyzjach podejmowanych (w czasie rzeczywistym) przez algorytm sterowania strumieniowaniem. Ten wybór okazał się być trafny i zaowocował oryginalną metodą sterowania ERA, której skuteczność wykazały badania testowe przedstawione w rozdziale 6.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Praca jest zredagowana poprawnie, czyta się ją dobrze, a zamieszczone rysunki i tabele są

pomocne w zrozumieniu jej treści. Brak jest jednak tak przydatnego elementu, jak wykaz używanych terminów i oznaczeń (wykaz skrótów jest zamieszczony). Praca zawiera też drobne usterki językowe, terminologiczne i notacyjne, które przedstawiłem Autorowi osobiście.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa nie zawiera istotnych wad i nie ma wyraźnie słabych stron. Jest on jednorodna w swoim charakterze, co Autor dobrze wykorzystał, przedstawiając w sposób przejrzysty, a przy tym zwięzły, sam problem oraz sposób jego rozwiązania (na tle rozwiązań istniejących) wraz z weryfikacją wyników.

Pewnym mankamentem jest brak samodzielnych pozycji Doktoranta na liście cytowanych publikacji – wszystkie cytowane pozycje (łącznie z patentem) liczą 4-5 autorów.

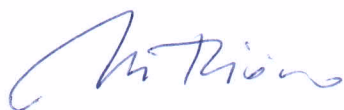
7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozprawa jest bezpośrednio przydatna dla nauk technicznych, gdyż przedstawia metodę sterowania strumieniowym przekazem wideo, a więc metody o powszechnym zastosowaniu praktycznym (*vide* Netflix), która jest konkurencyjna w stosunku do rozwiązań stosowanych w Internecie. Dodać należy, że podstawy opracowanej metody zostały opatentowane.

8. Podsumowanie

Podsumowując niniejszą recenzję, przedstawioną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Zawiera ona ważne, skuteczne i zarazem interesujące rozwiązanie praktyczne wraz z jego podbudową teoretyczną. Dobra jakość zaproponowanego podejścia została zweryfikowanego przekonującymi badaniami testowymi.

Uważam, że rozprawa doktorska pana Piotra Wiśniewskiego całkowicie spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Telekomunikacja przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595; z późniejszymi zmianami. W związku z tym wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Myślę też, że przedstawiona rozprawa może zostać zaliczona do kategorii wyróżniających się, o ile uzna ją za takową recenzent zewnętrzny.



(Michał Pióro)